

1	2	3	4	5
12	Максимальная производительность агрегата	Тонн в месяц	20	
13	Режим работы агрегата	–	Непрерывный 3-х сменный	
14	Тип печи	Камерная, толкательная с двухсторонним нагревом		
15	Температура нагрева изделий	°С	До 1100 °С	
16	Способ нагрева	Открытым пламенем		
17	Топливосжигающие устройства – скоростные рекуперативные горелки	Тип, марка горелок	–	РЕКУМАТ М150
		Номинальная тепловая мощность одной горелки	кВт	45
		Количество горелок	шт.	2
		Контроль пламени	–	Ультрафиолетовый датчик
18	Режим управления температурой в печи	Автоматический, импульсный		
19	Число зон регулирования	шт.	1	
20	Способ удаления окалины из печи	Вручную, во время ремонтов печи		

УДК 669.018

Э. М. Манашева, В. Г. Дружков

ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет имени Г. И. Носова», г. Магнитогорск, Россия

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЗМА ВЛИЯНИЯ НИТРИДА ФЕРРОСИЛИЦИЯ (НИТРИДА КРЕМНИЯ) НА СВОЙСТВА ЛЕТОЧНЫХ МАСС ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ

Аннотация

Чугунная летка – наиболее уязвимое место доменной печи. Она периодически нагревается до высоких температур, а затем резко охлаждается до температуры леточной массы, подаваемой в ее канал. Во время выпуска подвергается механическому и тепловому воздействиям жидких продуктов плавки и газов, а также подвергается абразивному износу раскаленным коксом.

Многих проблем при эксплуатации летки можно избежать, если обеспечить постоянство геометрических размеров канала (длины и диаметра) во время выпуска, что положи-

тельно скажется на работе доменной печи и безопасности персонала. В свою очередь, стойкость канала чугунной летки главным образом зависит от качества применяемых леточных масс.

Одним из ключевых компонентов в современной леточной массе является нитрид кремния (нитрид ферросилиция), имеющий превосходную стойкость при воздействии чугуна и шлака.

На кафедре металлургии черных металлов ФГБОУ МГТУ им. Г. И. Носова проводятся эксперименты по определению механизма влияния нитрида кремния на свойства масс. Эксперименты продолжаются, но первые полученные результаты показывают, что различное содержание нитрида ферросилиция в леточной массе не влияет на ее объемную плотность. В канале летки и околелеточном пространстве происходит разложение нитрида кремния с образованием вторичного карбида кремния. При наличии силицида железа, плавящегося при ~ 1200 °C, образование карбида кремния происходит через расплав с выделением удлиненных кристаллов β -SiC, которые, вырастая, формируют переплетенную сеть. Эта сеть связывает воедино все огнеупорные компоненты леточной массы, образуя прочный, стойкий к эрозии каркас.

Ключевые слова: чугунная летка, масса леточная, нитрид ферросилиция, нитрид кремния.

Abstract

Tap hole is the most vulnerable place of blast furnace. It periodically heats up to high temperatures, and then it is sharply cooled up to the temperature of tap hole clay. During release is affected mechanical and thermal by liquid products of melting and gases, and also is exposed to abrasive wear the heated coke.

Many problems at operation of a tap hole can be avoided if to provide constancy of the geometrical sizes of the channel (length and diameter) during tapping. This circumstance will positively affect operation of the blast furnace and safety of the personnel. Firmness of the channel of a tap hole mainly depends on the masses applied the tap hole clay.

One of key components in modern tap hole clay is silicon nitride (ferrosilicon nitride) having excellent cast iron and slag resistant.

On chair of Metallurgy of ferrous metals of Magnitogorsk state technical university of a name of G. I. Nosov experiments by definition of the mechanism of influence of silicon nitride on properties of tap hole clay. The first received results show that various content of ferrosilicon nitride in tap hole clay doesn't influence volume density. In the channel of a tap hole there is a decomposition of silicon nitride to formation of secondary silicon carbide. In the presence of iron silicide formation of silicon carbide happens through fusion to allocation of the extended crystals β -SiC which, form the bound network. This network of crystals connects together all fire-resistant components of tap hole clay, forming a strong framework resistant to an erosion.

Keywords: tap hole, tap hole clay, ferrosilicon nitride, silicon nitride.

Чугунная летка – наиболее уязвимое место доменной печи. Она периодически нагревается до высоких температур, а затем резко охлаждается до температуры леточной массы, подаваемой в ее канал. Во время выпуска подвергается механическому и тепловому воздействиям жидких продуктов плавки и газов, а также подвергается абразивному износу раска-

ленным коксом. Многих проблем при эксплуатации летки можно избежать, если обеспечить постоянство геометрических размеров канала (длины и диаметра) во время выпуска, что положительно скажется на работе доменной печи и безопасности работы персонала. В свою очередь, стойкость канала чугунной летки главным образом зависит от качества применяемых леточных масс.

При разработке современных леточных масс необходимо удовлетворять двум важнейшим критериям. С одной стороны, для достижения постоянства длины и диаметра летки необходимо повышать ее высокотемпературную прочность, трещиностойкость, а также коррозионное и эрозионное сопротивление. Вместе с тем для оперативного вскрытия летки огнеупорная масса должна легко буриться с использованием существующего оборудования. Кроме того, в исходном состоянии леточная масса должна иметь достаточный уровень пластичности для надежного закрытия летки и образования защитного слоя на внутренней поверхности футеровки, так называемого «леточного гриба».

Развитие леточных масс шло вслед за развитием домен и технологии выплавки чугуна. Чем больше становились размеры печей и совершеннее их конструкция и чем более интенсивным становился сам процесс плавки, тем более высокие требования стали предъявляться к качеству леточных масс.

Еще совсем недавно основу леточных масс составляли кокс, шамот, огнеупорная глина и каменноугольная смола. В настоящее время обязательными компонентами для них являются оксид алюминия и карбид кремния. Новейшим этапом развития леточных масс становится дополнительное введение в их состав нитрида ферросилиция ввиду высокой термической стойкости и стойкости к разъедающему воздействию чугуна и шлака. Введение данного компонента в состав масс показывает хорошие результаты.

Однако до сих пор нет четкого представления о механизме влияния нитрида кремния на свойства леточных масс.

В настоящее время на кафедре металлургии черных металлов МГТУ им.Г. И. Носова проводится работа по выявлению механизма влияния нитрида ферросилиция, а также определение его оптимальной концентрации в леточной массе.

Для проведения опытов были выбраны шесть составов леточных масс, в состав которых нитрид ферросилиция вводился в виде композиционного материала NITROFESIL TL, производимого ООО НТПФ «Эталон» (см. табл. 1). Состав № 3 является реально применяемым в доменном цехе ОАО «ММК».

Таблица 1

Массы леточные безводные экспериментальные (на основе массы МЛБ-6М)

№ п/п	NITRO- FESIL® TL	Смола К/У	Пек	УСК	Карбид кремния	Глина	Шун- гит	Коксик	Шамот
	0	25,7	5,8	9,2	7,0	21,1	7,7	14,5	9,0
	3,2	25,7	5,8	8,8	6,3	21,1	7,3	14,1	7,7
	6,5	25,7	5,8	8,1	5,7	21,1	6,6	13,5	7,0
	10,0	25,7	5,8	7,4	5,0	21,1	5,9	12,8	6,3
	12,5	25,7	5,8	6,9	4,5	21,1	5,4	12,3	5,8
	15,0	25,7	5,8	6,4	4,0	21,1	4,9	11,8	5,3

NITROFESIL TL представляет собой композицию, состоящую из нитрида кремния, силицидов железа и свободного железа. Производят данный материал по методу самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС).

Увеличение или уменьшение содержания нитрофесила производили за счет изменения содержания других компонентов – коксика, шамота, шунгита и карбида кремния, а содержание связующих оставалось неизменным.

Смешивание компонентов леточных масс производили вручную, а формование образцов осуществляли в лаборатории РИОМ ООО «Огнеупор» на прессе давлением 200 кг/см^2 .

Поскольку по данным различных исследователей температура по длине канала чугунной летки не является величиной постоянной, а изменяется от 600 до 1450°C , то для проведения лабораторных спеканий были выбраны следующие температуры: 800°C , 1000°C , 1200°C (соответствует температуре в канале летки во время накопления жидких продуктов плавки) и 1450°C (соответствует средней температуре продуктов плавки во время выпуска). Спекания проводятся в коксовой засыпке в графитовых тиглях или шамотных огнеупорных ванночках. Коксовая засыпка с размерами частиц $1\text{--}2 \text{ мм}$ позволяет имитировать восстановительную атмосферу в горне доменной печи и канале чугунной летки.

Спекание компонентов при температуре 1450°C проводятся в печи Таммана в лаборатории на базе ФГБОУ ВПО МГТУ им. Г. И. Носова; при температурах $800\text{--}1200^\circ\text{C}$ – в муфельных печах на базе ООО НТПФ «Эталон» и ООО РИОМ «Огнеупор».

Время выдержки при указанных температурах выбирали исходя из режима графика выпусков, т. е. фактического времени нахождения массы в канале чугунной летки



Рис. 1. Внешний вид опытных образцов леточной массы: слева – до спекания; справа – после спекания

Так, при наличии двух чугунных леток и периодическом выпуске (поочередно на каждую летку) время пребывания массы в канале летки составляет $46\text{--}50$ минут. При проведении двух выпусков подряд на одну чугунную летку нахождение массы в канале другой летки составляет 192 минуты или $3 \text{ часа } 12 \text{ минут}$. Поэтому для спекания образцов применили два временных интервала 1 и 3 часа. Время нагрева до температуры выдержки составляет 2 часа. Охлаждение образцов происходит вместе с печью.

Визуально оценивались изменения геометрических размеров и формы образцов. На поверхности образца после спекания видны частицы приварившегося измельченного кокса. После удаления приварившихся частиц кокса образец взвешивался и рассчитывалась убыль его массы.

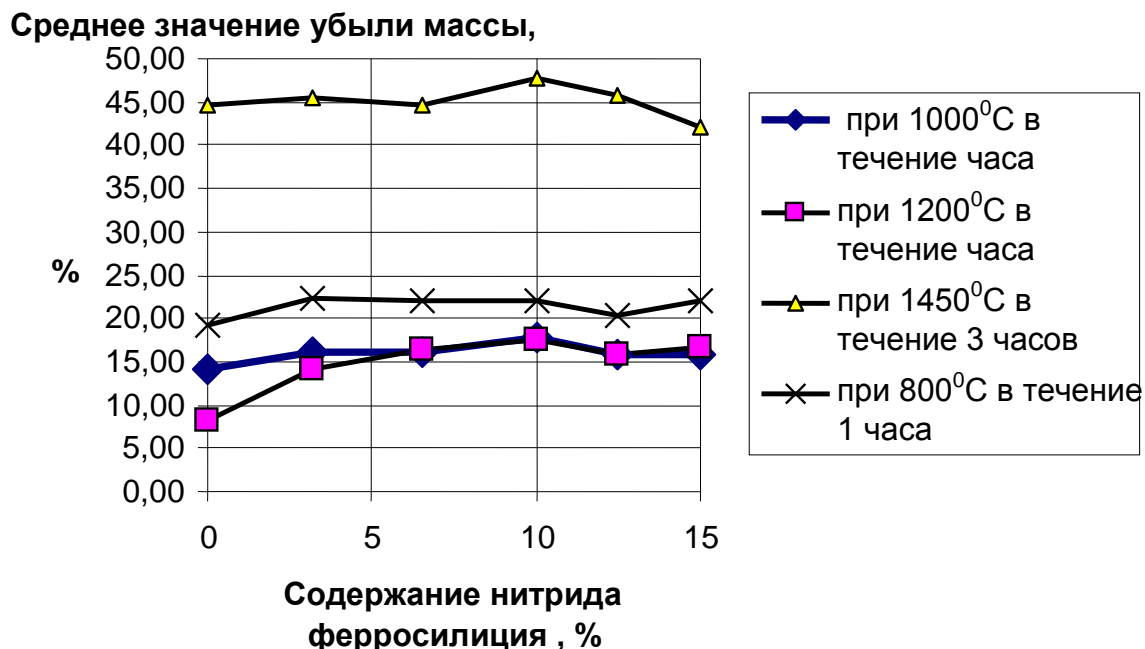


Рис. 2. Зависимость убыли массы образцов от содержания нитрида ферросилиция

Также был проведен количественный рентгенофазовый анализ образца № 6, спеченного при температуре 1450 °С (с содержанием 15 % NITRO-FESIL).

Во время капитального ремонта I разряда доменной печи № 6 ОАО «ММК» был отобран образец леточной массы из канала летки и проведен его химический анализ, который показал, что в его составе отсутствует азот.

Эксперименты продолжаются, но первые полученные результаты показывают, что различное содержание нитрида ферросилиция в леточной массе не влияет на ее объемную плотность: относительная потеря массы у спеченных образцов с разным содержанием нитрида кремния (нитрида ферросилиция) практически одинакова.

Таблица 2

Результаты рентгенофазового анализа спеченного образца № 6
(выдержка в течение 3 часов при температуре 1450 °С)

Компонент	Содержание по массе, %
SIC(MCISSANITE)	42,2
C (GRAFIT)	40,9
Al ₂ O ₃ (ALPHA)	11,7
FeSi ₃ (Iron Silicide)	2,3
SiO ₂ (QUARTZ)	1,0
Al ₂ SiO ₅ _kyanite_tric	0,7

По результатам рентгенофазового и химического анализа можно предположить следующее:

- в условиях горна доменной печи происходит восстановление оксида кремния из шихтовых материалов до карбида кремния с образованием карбида кремния вторичного;

- в канале летки и в околослеточном пространстве внутри печи по достижении температуры $\sim 1400^\circ\text{C}$ нитрид кремния разлагается, а выделившийся в результате реакции кремний реагирует с углеродом с образованием вторичного карбида кремния. При наличии силицида железа, плавящегося при $\sim 1200^\circ\text{C}$, образование карбида кремния происходит через расплав с выделением удлиненных кристаллов $\beta\text{-SiC}$, которые, вырастая, формируют переплетенную сеть. Эта сеть связывает воедино все огнеупорные компоненты леточной массы, образуя прочный, стойкий к эрозии каркас. Для подтверждения этой теории в дальнейшем планируется проведение рентгенофазового анализа спеченных образцов остальных составов, оценка физико-механических свойств, шлакоустойчивости.

Список использованных источников

1. Огнеупоры и их применение: пер.с японского / под ред. Инамуры Я. М.: Металлургия. 1984. 448 с.
2. Кашеев И. Д. Химическая технология огнеупоров / И. Д. Кашеев, К. К. Стрелов, П. С. Мамыкин. – М.: Интермет Инжиниринг. 2007. 752 с.
3. Kometani K. Behavior of Ferro-Si₃N₄ in Blast Furnace Tap Hole Mud / K. Kometani, K. Lizuka, T. Kaga // Taikabutsu. 1998. V.50, № 6, P. 326–330.
4. Muroi N. New Taphole Mud for Blast Furnaces / N. Muroi // Taikabutsu. 1999. V.51, №4, P. 192–196.
5. Lopes A.B. The Influence of Ferro Silicon Nitride on the Performance of the Modern Taphole Mud for Blast Furnace // Refractories Applications and News, 2002. V.7, № 5, P. 26–30.
6. Разработка высокоэффективной леточной массы для доменной печи / Ю. Охибубо, Ю. Китазава, М. Суравара и др. // Огнеупоры и техническая керамика. 2007. № 8. С. 46–50.
7. Андриевский Р.А. Нитрид кремния и материалы на его основе / Р.А. Андриевский, И.И. Спивак. – М.: Металлургия. 1984. 136 с.